

Groupe VI : Géologie Question D. Étude de la cryoclastie et de l'haloclastie par méthode dilatométrique par Mademoiselle Angélique Prick Rapports des Commissaires

Albert Pissart, Jean-Pierre Sautridou, André Delmer, Maurice Streel

Citer ce document / Cite this document :

Pissart Albert, Sautridou Jean-Pierre, Delmer André, Streel Maurice. Groupe VI : Géologie Question D. Étude de la cryoclastie et de l'haloclastie par méthode dilatométrique par Mademoiselle Angélique Prick Rapports des Commissaires . In: Bulletin de la Classe des sciences, tome 7, n°7-12, 1996. pp. 555-560;

https://www.persee.fr/doc/barb_0001-4141_1996_num_7_7_41381

Fichier pdf généré le 05/06/2020

GROUPE VI : GÉOLOGIE

Question d

Étude de la cryoclastie et de l'haloclastie par méthode dilatométrique

par Mademoiselle Angélique Prick

Rapports des Commissaires

Ce travail constitue une contribution à l'étude de l'altération de calcaires tendres français d'âge secondaire sous l'action de l'eau, des sels et du gel. L'altération est évaluée par la méthode dilatométrique et des mesures du module d'élasticité dynamique. La méthode dilatométrique évalue la dilatation (ou la contraction) linéaire ou volumique d'un échantillon lorsqu'il est soumis à l'action d'un processus donné (ici, un processus altérant). Cette méthode non destructive permet d'observer la réaction d'un échantillon à une modification des conditions initiales de température et d'humidité avant qu'une altération ne soit visible à l'œil nu. Cette méthode de mesure novatrice a été très rarement utilisée par des naturalistes dans l'étude du comportement de roches à l'imbibition (Félix, 1987 ; Delgado Rodrigues, 1988) ou au gel (Matsuoka, 1988 ; Weiss, 1992), et jamais, à notre connaissance, dans celle de l'haloclastie. Afin de corréliser le comportement dilatométrique observé à une évaluation quantitative de la résistance mécanique des roches, le module d'élasticité dynamique des échantillons soumis à l'humidification et au gel a été mesuré avec l'appareil Grindosonic au cours des cycles d'action altérante. Cet appareil permet la détermination du module d'élasticité (ou module de Young) en réalisant des mesures (non destructrices) de la fréquence fondamentale de résonance d'un corps (de forme géométrique régulière) qui subit une excitation par un choc. Les altérations observées ont pu être en partie corrélées aux caractéristiques intrinsèques des roches, et notamment à la structure de leur milieu poreux.

La *première partie* de ce travail présente les *caractéristiques physiques des roches étudiées* et spécialement celles de leur milieu poreux.

La *deuxième partie* du travail est consacrée à l'action de l'*humidification*. Vingt cycles d'humidification/séchage ont causé pour quelques roches seule-

ment des prises de longueur résiduelle par un processus de fatigue (création et élargissement de fissures). Pour les autres, la stabilité des valeurs du module d'élasticité dynamique montre que les échantillons n'ont pas subi d'altération. Un très grand nombre d'alternances d'humidification et de séchage généraliserait peut-être une telle fatigue dans tous les échantillons.

Le comportement dilatométrique observé le plus souvent est caractérisé par une stabilité ou par une contraction de la longueur des carottes de calcaire qui montre la mise en place d'un équilibre hydrique dans le milieu poreux. Celui-ci se réalise par des migrations d'eau dont les caractéristiques dépendent des conditions thermiques et hydriques dans les diverses parties du cylindre de roche étudié. Ce phénomène induit une contraction anisotrope de certains échantillons.

La troisième partie concerne l'haloclastie. Les essais ont été comparables aux expériences humidification/séchage mais avec des solutions salines de sulfate de calcium et de sulfate de sodium. La désagrégation mécanique liée à la présence de sels dépend de trois processus (Cooke, 1981 ; Goudie, 1985) : la cristallisation du sel (principalement suite à l'évaporation de la solution), l'hydratation des cristaux de sel présents dans la roche (ce qui s'accompagne d'un accroissement de volume pouvant exercer des pressions considérables sur les parois des pores) et l'expansion thermique de ces cristaux (souvent supérieure à l'expansion thermique de la roche). Les essais n'ont pas tenu compte de ce troisième processus : l'amplitude thermique subie par les échantillons n'est que de 25° C.

Les échantillons soumis à la cristallisation du sulfate de calcium ont montré une prise de longueur résiduelle significativement supérieure à la réponse dilatométrique d'échantillons de même lithologie soumis à des cycles en eau distillée. Le processus d'hydratation des cristaux existants dans la roche paraît très efficace au point de vue de l'altération, comme en témoigne la dilatation résiduelle ainsi causée. Le gypse forme des croûtes superficielles sur les calcaires, ce qui provoque une imperméabilisation de leur surface et limite les prises d'eau et les dilatations hydrauliques postérieures. L'hydratation des cristaux de sulfate de sodium existants ne cause pas de prise de longueur résiduelle significative : une partie des cristaux de sulfate de sodium formés dans le milieu poreux sont dissous par les humidifications postérieures en eau distillée. On peut cependant corrélérer certaines caractéristiques porosimétriques à la réponse à l'haloclastie.

Ajoutons pour terminer ce chapitre que la principale altération par haloclastie s'est révélée être essentiellement superficielle : desquamation de la croûte de surface et désagrégation granulaire sous-jacente.

La quatrième partie étudie la cryoclastie. Afin de mieux appréhender la gélivité d'une roche, il est intéressant de mesurer son degré de saturation critique, qui est une valeur de saturation caractéristique d'une lithologie particulière. À des degrés de saturation supérieurs ou égaux à cette valeur critique, cette roche sera endommagée par le gel. Afin d'évaluer ce paramètre, des échantillons de chaque lithologie étudiée ont subi 8 cycles de gel / dégel à un degré de saturation donné. Aux divers degrés de saturation, le module d'élasticité dynamique a été évalué avec l'appareil Grindosonic avant et après

chaque expérience. Le degré de saturation critique est défini comme étant le degré de saturation à partir duquel on observe une baisse du module d'élasticité, donc une altération.

Les mesures dilatométriques ont été réalisées en soumettant des échantillons cylindriques de roches humidifiés en eau distillée à un cycle de gel et de dégel dans une chambre climatique. La température de cette chambre a varié entre + 20 et - 20° C à une vitesse de 0,5 ; 2 ou 10° C/h. Le comportement dilatométrique au gel est lié au degré de saturation (supérieur ou inférieur à la saturation critique S_{cr}), aux caractéristiques du milieu poreux des calcaires (et notamment au caractère uni- ou multimodal de leur porosité) et enfin à la vitesse du gel que les échantillons ont subis.

Le comportement d'un échantillon de roche dont les pores ont un classement multi- ou bimodal est caractérisé par une forte dilatation pour des degrés de saturation supérieurs à la saturation critique et par une contraction anisotrope pour des saturations plus faibles. En effet, les processus intervenant lors du gel d'un échantillon de calcaire humide sont non seulement une dilatation volumique liée au gel de l'eau (ce qui s'accompagne d'un accroissement volumique de 9 %) et la contraction thermique (généralement masquée par la dilatation volumique évoquée), mais aussi des processus de pression hydraulique et de pression capillaire. Ces deux processus ont été à l'origine de contractions importantes des carottes de roche par la migration d'eau non gelée vers des cristaux de glace existants (processus comparable à celui amenant la formation de lentilles de glace de ségrégation dans un matériau meuble). Ce processus qui se limite naturellement à la zone de contact entre micropores et macropores voisins peut se produire à l'échelle de la carotte de la roche dans le cas de roches poreuses et perméables comme les roches présentant une distribution des pores multimodale. Il cause une concentration d'eau dans la zone latérale de l'échantillon quand un front de gel pénètre dans celui-ci par cette partie latérale du cylindre. Ceci a été prouvé par l'étude de la répartition de l'eau dans la roche après le gel, étude effectuée par sciage et pesée dans la chambre froide du Laboratoire de Glaciologie de l'Université Libre de Bruxelles.

Les roches dont les pores ont une distribution unimodale affichent aussi une dilatation (qui est le reflet de la dilatation volumique accompagnant le gel de l'eau) pour des degrés de saturation élevés. À des degrés de saturation inférieurs à S_{cr} , la contraction observée pour les roches dont les pores ont une distribution multimodale n'apparaît pas. Les migrations d'eau gelée sont ici plus ou moins développées selon la porosité mais aussi la perméabilité de la roche : elles agissent encore à l'échelle de l'échantillon (Lavoux) ou seulement localement (Charentenay, Tercé, Tervoux, Larrys) ou sont inexistantes (Vilhonneur, qui est une roche non perméable à l'eau).

La vitesse de gel différencie le comportement dilatométrique d'échantillons de même lithologie ayant un même degré de saturation. Un gel s'accompagne d'une dilatation volumique (liée au changement de phase) d'autant plus forte que le gel est rapide ; un gel lent permet la dissipation des contraintes générées par ce processus et favorise, dans la plupart des cas, les

migrations d'eau non gelée. Un gel rapide désagrège un échantillon saturé selon un processus de type *éclatement*. On peut opposer à ce processus celui de l'*écaillage*, qui est l'aboutissement de l'accumulation de glace en bordure des carottes de roche.

Conclusion

Le travail est résolument novateur. La combinaison de deux méthodes très peu utilisées à ce jour démontre la complexité des processus d'altération.

Parmi les principaux résultats, nous soulignerons spécialement :

1) que les simples processus d'hydratation/séchage se sont révélés moins efficaces qu'on ne le supposait et que plusieurs études antérieures paraissaient le montrer.

2) que l'haloclastie détermine moins une désagrégation des roches à la suite de variations dilatométriques de toute la masse de l'échantillon, que une désagrégation principalement superficielle provoquant l'effritement de la partie externe de l'échantillon de roche étudié.

3) que les processus qui interviennent dans la désagrégation due au gel ne sont pas seulement liés à l'augmentation de volume associé au changement de phase de l'eau, mais sont principalement déterminés par des migrations d'eau au sein des échantillons. On ne peut parler de gélivité sans préciser s'il s'agit d'écaillage, d'éclatement ou de gélifission qui sont liés à des phénomènes physiques différents. Et l'étude suggère en outre que d'autres mécanismes toujours mal connus sont liés à l'action du gel.

L'auteur présente en outre tout au long de ce travail, d'excellentes synthèses des connaissances et de nombreuses observations du plus haut intérêt.

En conséquence, je propose à la Classe des Sciences d'accorder à Mademoiselle Prick le prix de l'Académie et je recommande la publication de ce travail dans les mémoires. Toutefois, cette publication devrait être présentée dans une forme réduite de façon à ne guère dépasser 200 pages.

Albert Pissart, *premier commissaire*

Je connais bien Angélique Prick qui a séjourné plusieurs fois dans mon Laboratoire à Caen. De plus, je connais bien son étude sur la désagrégation des roches sous l'effet de la gélifraction et de l'haloclastie. J'ai tout de suite reconnu et apprécié ses qualités de sérieux et de rigueur.

Son approche de l'altération des roches par la méthode dilatométrique est originale parce que pratiquement jamais employée (sauf quelques rares essais anciens). Angélique Prick a ainsi examiné avec cette méthode les effets des alternances humectation-dessiccation de l'haloclastie et de la cryoclastie. Elle

démontre d'abord sa capacité remarquable de synthèse en présentant clairement la littérature pléthorique notamment en cryoclastie avec les différentes théories. Ensuite elle expose brillamment les résultats de ses expériences à partir des trois processus précédemment définis. Elle montre que l'altération par ces trois agents d'altération dépend des caractéristiques internes du matériau (morphologie du milieu poreux) et des conditions environnementales externes (variation thermique, hydrique, cristallisation de sel et de glace). Il est particulièrement intéressant de connaître la hiérarchie d'efficacité des trois processus et de savoir précisément comment ces altérations sont intimement liées, notamment par la nécessité de la présence d'eau.

Angélique Prick a disposé d'un grand nombre de données analytiques et expérimentales. Je constate qu'elle n'a pas été submergée par cette masse impressionnante de chiffres et d'observations. Au contraire, elle a totalement dominé son sujet.

Ce travail constitue une contribution très importante pour la compréhension des mécanismes qui entraînent la désagrégation mécanique des roches. Ces progrès accomplis au niveau expérimental sont d'autant plus intéressants pour le naturaliste que les expériences ont toujours été conduites avec le souci de se situer le plus près possible des conditions naturelles. Le transfert des acquis expérimentaux au terrain devrait donc être possible sans difficultés majeures.

En conclusion, l'originalité de la démarche, le sérieux, la rigueur, la grande capacité de synthèse de ce chercheur font que cette thèse est exceptionnelle et qu'elle mérite amplement d'être couronnée par un prix.

Jean-Pierre Sautridou, CNRS, Universités de Caen et de Rouen

L'altération des matériaux de construction soit par l'action du gel, soit par celle d'agents chimiques revêt une importance technologique considérable. L'examen macroscopique et visuel, même pratiqué par des spécialistes, ne suffit plus à poser un diagnostic fiable. Aussi devons-nous savoir gré à Madame A. Prick d'avoir abordé la question avec toute la rigueur scientifique souhaitable et d'avoir mis au point une méthode dilatométrique précise.

Je me rallie volontiers aux conclusions du premier rapporteur.

André Delmer, *deuxième commissaire*

Ce travail constitue une importante contribution pour la compréhension des mécanismes qui déterminent la désagrégation mécanique des roches. Comme le souligne le premier rapporteur, l'auteur présente, en plus d'observations nombreuses, d'excellentes synthèses des connaissances sur le sujet. Tout au plus peut-on regretter que certaines références à la littérature soient restées indirectes (en particulier les travaux des « ingénieurs »).

Il s'agit d'un travail méticuleux dont les conclusions sont bien établies et qui fait honneur au laboratoire qui l'a mis en œuvre. Je propose donc d'attribuer le prix de l'Académie à M^{lle} Prick.

Maurice Streel, *troisième commissaire*